

# 博 士 論 文 要 旨

ガンマ線バーストにおける中心エンジンの時間的活動性と  
周辺環境の観測的研究

(Observational study on temporal activity of central engine  
and circumburst medium in gamma-ray bursts)

金沢大学大学院自然科学研究科数物科学専攻

吉田 和輝

## Abstract

Using a pulse search algorithm for bright gamma-ray bursts (GRBs), we investigated the time variability of light curves of 56 GRBs to search a signature of the interaction between the jet and the inner structure of the progenitor. However, we confirmed that there is no such signature. We also found that pulse intervals of light curves were described by a lognormal distribution with a mean of  $\sim 1$  s. This result can be explained by the photospheric emission model if the energy injection of the central engine is not steady or completely periodic but episodic and described by the lognormal distribution with a mean of  $\sim 1$  s.

By performing spectral analyses for spectral energy distribution of 9 short GRB afterglows, we also investigated a ratio of the equivalent hydrogen column density to the dust extinction in the rest frame of short GRB. We found that the distribution of this ratio is systematically smaller than the one of long GRBs, and is roughly consistent with the gas-to-dust ratio in the Milky Way. This result means that the measured gas-to-dust ratio of SGRBs would originate from the interstellar medium in each host galaxy. This scenario supports the prediction that SGRBs occur in non star-forming regions in the host galaxies.

ガンマ線バーストは(Gamma-Ray burst: GRB)は、明るいもので  $10^{54}$  erg ものエネルギーをガンマ線・X線放射として解放する宇宙最大の爆発現象である。激しい時間変動を伴い数ミリ秒から数百秒程度輝くプロンプト放射と、それに続いて数時間から数日にかけて段々暗くなる残光が観測されている。プロンプト放射の継続時間が長い long GRB (LGRB) の多くは赤方偏移  $z > 1$  で発生しており、その明るさを利用して、 $z > 7$  の宇宙を探る光源として期待されている。また、継続時間が短い short GRB (SGRB) は連星中性子星の合体が起源とされており、重力波天体の電磁波対応天体として非常に注目されている。

GRB はコンパクトネス問題から相対論的ジェットが存在が示唆されており、一般的には火の玉モデルが受け入れられている。しかし、詳細な放射プロセスは未解明であり、理論的な候補として内部衝撃波モデルと光球放射モデルが存在する。近年の数値シミュレーションの発展により、光球放射モデルの詳細な計算が活発に行われている。中心エンジンの時間変動をモデル化した計算では、その時間変動の兆候がライトカーブにも現れる可能性が示されている。

一方で、残光の観測事実を説明する理論モデルとしては外部衝撃波モデルが広く受け入れられている。X線から可視・近赤外線帯域におけるスペクトルは、1つのべき関数、もしくは折れ曲がりのある2つのべき関数で再現される。実際の観測では視線上に存在する星間物質によるX線吸収と可視減光が起きるため、スペクトル解析を行うことで、GRBの周辺もしくは母銀河のガスやダストの量を見積もることができる。LGRBについてはよく調べられており、天の川銀河やマゼラン雲などのガス-ダスト比に比べ、大きな比を示していることが分かっているが、その原因は未解明である。

本研究には2つの目的がある。1つは、GRBの観測データを用いてプロンプト放射のライトカーブの時間変動を調べ、理論的に予想された時間変動の兆候があるかどうかを観測的に検証する。さらに観測事実と数値シミュレーションの結果を比較検証することで、理論モデルに観測的な制限を加えることを目指す。そのためのアプローチとして、GRBの静止系で物理的な議論をするために、*Swift* 衛星のBAT検出器で観測された赤方偏移が分かっているGRBのデータを用いた。ポアソン統計を用いて有意な変動を示すパルスのピークを抽出し、その発生間隔を計算した(図1左)。検出時刻を基準としてライトカーブを任意の時間で区切り、パルス間隔の分布を調査したところ、有意な時間変化が無いことを示した。また、パルス間隔は1秒程度の対数正規分布に従うことを示し(図2右)、既存の理論モデルにおいてはそのような活動性を持つ中心エンジンが必要となること提示した。

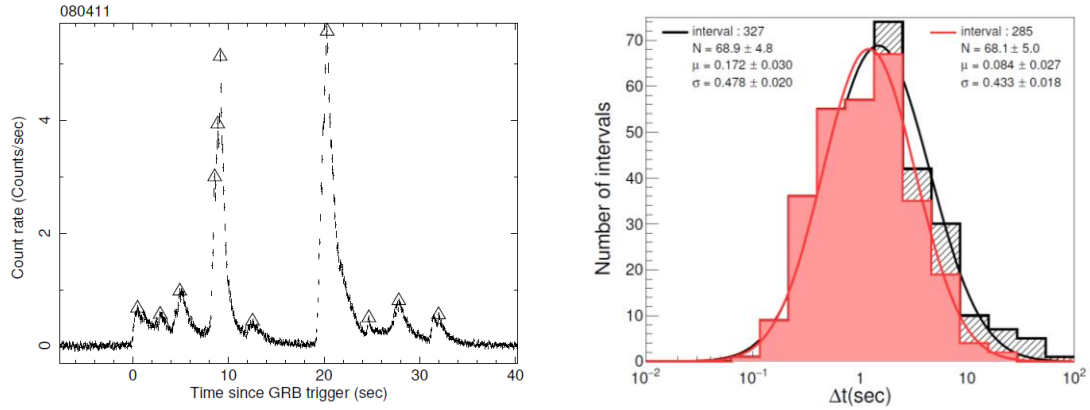


図1 (左)抽出したピークとライトカーブの例。(右)黒が327個、赤が休止期間を除外した285個のパルス間隔 $\Delta t$ のヒストグラム。対数正規分布のベルトフィット値を左上と右上に示している。

2つ目の研究目的は、SGRBの残光のスペクトル解析によってガス-ダスト比を調査し、LGRBや典型的な環境との比較検証を行うことで、GRBの周辺および母銀河の物質的特性の新しい知見を得ることである。そこで、可視・近赤外残光の観測が行われ、母銀河が同定されているSGRBとして、Swift衛星のXRT検出器のデータを用いて可視・近赤外線データと合わせて、残光のスペクトル解析を行った。その結果、SGRBの母銀河におけるガス-ダスト比は天の川銀河の典型的な値と近い値を示すことが分かった(図2)。この結果は、SGRBが天の川銀河の星間物質と似た性質を持つ物質環境下で発生していることを示唆しており、SGRBが星形成領域ではない場所で発生するという理論予想の初の観測的な証拠となり得る。

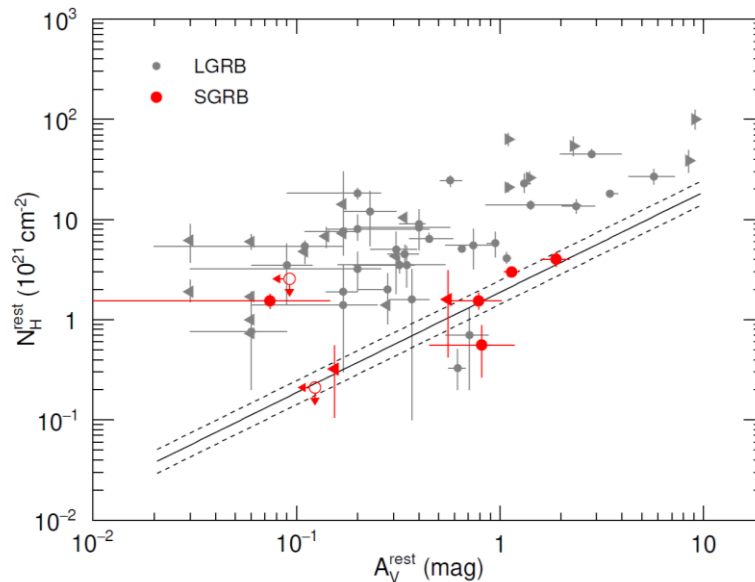


図2 母銀河におけるガス-ダスト比。赤色のプロットは今回解析した9つのSGRBの結果、グレーのプロットはLGRBの結果(Covino et al., 2013)を示している。三角は90%信頼区間における上限値と下限値を示している。実線は天の川銀河における典型的なガス-ダスト比、破線は標準偏差を表している(Welty et al., 2012)。

学位論文審査報告書（甲）

1. 学位論文題目（外国語の場合は和訳を付けること。）

ガンマ線バーストにおける中心エンジンの時間的活動性と周辺環境の観測的研究

2. 論文提出者 (1) 所 属 数物科学 専攻

(2) 氏 名 <sup>ふり</sup> <sup>がな</sup> <sup>よしだ</sup> <sup>かずき</sup>  
吉田 和輝

3. 審査結果の要旨（600～650字）

宇宙最大の爆発現象であるガンマ線バースト(GRB)について2つの科学的観点から観測的研究を行ったものである。

1つ目は継続時間の長いGRBに対して、一般相対論を用いた数値シミュレーションの結果を観測的に検証したものである。本研究では、スウィフト衛星の観測データを系統的に扱い、バースト現象の時間プロファイルを多角的に検証した結果、理論的に予想されているような前後半での時間的な変化は存在しないことを示した。本研究の成果は、数値シミュレーションに対して新たな課題を提示し、相対論的ジェットの形成という高エネルギー天体物理学の重要課題に対する1つの観測的成果と位置づけられる。

2つ目は、近年の重力波観測と関連の深い継続時間の短いGRBの発生環境に関する観測的研究である。バースト後に生じるX線・可視光・近赤外線残光の観測データを系統的に扱ったスペクトル解析から、発生源の周辺のガス・ダスト比を計測した。継続時間の長いGRBでは、ガス・ダスト比が異常に高い事が知られているが、短時間GRBでは天の川銀河と同等であり、両者の発生環境が明確に異なることを示した。発生源が重力波源として知られる連星中性子星のような系である場合は、超新星爆発の反動で固有速度を獲得し、衝突・合体までの時間に母銀河の外に飛び出す可能性があり、将来のガス・ダスト比の詳細観測により短時間GRBの発生源の性質を深く理解できることを示している。

以上の内容は学術的に新しく博士論文の内容として相応しいと判断できる。

4. 審査結果 (1) 判 定 (いずれかに○印) 合 格 ・ 不合格

(2) 授与学位 博 士 ( 理 学 )